

Coraz bardziej restrykcyjne normy emisji spalin i rosnące koszty ropy i benzyny sprawiają, że pojazdy zasilane paliwami alternatywnymi: LPG, CNG, LNG czy wodorem cieszą się coraz większą popularnością. Każde z nich stwarza specyficzne zagrożenia. Przyjrzyjmy się pojazdom zasilanym schłodzonym skroplonym gazem ziemnym LNG (ang. *liquefied natural gas*).

# Bezpieczne



Zewnętrzne oznakowanie autobusów zasilanych LNG

**KONRAD LESZCZUK**

**P**ierwsze pojazdy zasilane LNG pojawiły się na rynku w latach 70. ubiegłego wieku. Intensywny rozwój tej gałęzi branży samochodowej, w szczególności w Stanach Zjednoczonych, nastąpił po 2000 r. Ze względu na ograniczone możliwości tankowania LNG znalazło zastosowanie przede wszystkim w pojazdach o stosunkowo krótkim zasięgu, które wielokrotnie pokonują tę samą trasę przejazdu, np. autobusach miejskich, pojazdach przewożących odpady komunalne, maszynach budowlanych czy promach śródlądowych i morskich. Rozwój tej technologii w transporcie pozwolił na jej zastosowanie także do zasilania dalekobieżnych lokomotyw, które od 2012 r. jeżdżą po kanadyjskich szlakach kolejowych.

W Polsce jeden z krajowych producentów wprowadził na rynek autobusy zasilane LNG w 2010 r. Warto wspomnieć, że 23 kwietnia 2010 r. pierwszy autobus z instalacją LNG spłonął podczas jazdy testowej. Przyczyna pożaru była całkowicie niezwiązana z zastosowanym paliwem alternatywnym, a zainstalowane systemy odpowiedzialne za odpowiedni poziom bezpieczeństwa podróżujących i ekip ratowniczych zadziałały prawidłowo. Pierwszym polskim miastem, w którym pojawiły się autobusy zasilane paliwem LNG, był Wałbrzych. Od 1 października 2013 r. komunikację miejską w Olsztynie obsługuje 11 autobusów zasilanych tym rodzajem paliwa. Z początkiem 2015 r. na warszawskich drogach pojawi się 35 takich pojazdów.

Kolejni przewoźnicy będą zapewne inwestowali w pojazdy napędzane LNG ze względów

ekonomicznych, a więc siłą rzeczy nie raz zetknemy się z przypadkami ich awarii.

Paliwa alternatywne są wprowadzane na rynek również drogą administracyjną. Komisja Europejska [1] mówi o konieczności zwiększenia dostępności ich tankowania (dotyczy to również LNG), co prawdopodobnie zwiększy liczbę odpowiednio dostosowanych stacji paliw.

## Właściwości LNG

LNG to schłodzony skroplony gaz ziemny. Stanowi mieszaninę węglowodorów o zmiennym składzie [2], tworzoną w ponad 75 proc. przez metan, zawierającą na ogół także etan, propan i – w znacznie mniejszych stężeniach – wyższe węglowodory oraz niektóre gazy niepalne, m.in. azot, ditlenek węgla czy hel.

LNG jest skrajnie łatwopalny. Jednak aby osiągnąć granicę palności, musi przejść w stan gazowy i mieć stężenie między 5 a 15 proc. objętości powietrza. Temperatura jego samozapłonu, w zależności od składu, waha się od 426 °C do 580 °C.

Gaz ziemny ulega skropleniu w wyniku schłodzenia do temperatury około -160 °C przy stosunkowo niskim ciśnieniu (rzędu kilku barów). Z tego powodu zbiorniki LNG zaopatrywane są w izolację termiczną, która pozwala na efektywne przechowywanie ciekłego gazu ziemnego bez dodatkowych systemów chłodniczych. Jednak przechowywanie go w izolowanym termicznie zbiorniku przez długi okres spowoduje, że stopniowo będzie następowało jego ogrzewanie i w konsekwencji odparowanie. Sprzyja temu fakt, że metan ma tendencję do przechodzenia w fazę gazową, przez co obniża się jego stężenie w fazie ciekłej, a w konsekwencji zmieniają się jego właściwości fizykochemiczne.

Skroplony gaz ziemny zajmuje objętość około 600 razy mniejszą, niż gdy przechowywany jest w warunkach standardowych (ciśnienie 1000 kPa, temperatura 0 °C). W związku z tym łatwiej się go transportuje i magazynuje. Ponadto przy przechowywaniu gazu ziemnego w fazie cie-

klej, przy stosunkowo niskim ciśnieniu, znacznie zwiększa się objętościowa gęstość energii, czyli ilość energii uzyskiwana z określonej objętości paliwa (ma to niewątpliwie swoje walory ekonomiczne). Początkowa temperatura wrzenia LNG wynosi około -160 °C, faza gazowa jest w niej 1,5 razy cięższa od powietrza, przy około -112 °C osiąga gęstość równą gęstości powietrza, a w temperaturze około 21 °C jest od niego o połowę lżejsza. LNG nie jest toksyczny, jednak może być duszący przy większych stężeniach, ze względu na wypieranie tlenu z atmosfery.

LNG jest bezwonny i warto przy tym podkreślić, że nie jest nawianiany tetrahydrotiofenem (THT), tak jak gaz ziemny w sieciach przesyłowych. Gęstość LNG, w zależności od jego składu, wynosi od 430 kg/m<sup>3</sup> do ponad 500 kg/m<sup>3</sup>.

W transporcie drogowym LNG jest przewożony pod nazwą „metan, schłodzony skroplony” lub „gaz ziemny, schłodzony skroplony, o wysokiej zawartości metanu”, z numerem UN 1972.

## Zagrożenia

LNG jest źródłem pewnych zagrożeń dla ludzi, środowiska i mienia. Przede wszystkim jest palny, ale grozi również – co niespotykane przy tradycyjnych paliwach – odmrożeniami kriogenicznymi. W razie uwolnienia LNG do środowiska naturalnego nie powoduje on w miejscu wycieku długotrwałych efektów ubocznych, poza lokalnym oddziaływaniem niskiej temperatury.

**Zagrożenie pożarowo-wybuchowe.** Po uwolnieniu LNG z izolowanego zbiornika w zagłębieniach terenu będą się tworzyły rozlewiska. Nad nimi powstanie bezbarwny obłok par, widoczna może być jedynie mgła, powstała na skutek miejscowego schłodzenia powietrza i skondensowania pary wodnej. Pary LNG w miarę ogrzewania ▶

Tankowanie LNG wymaga odpowiedniego przygotowania, a w szczególności wyznaczenia i oznaczenia stref zagrożenia wybuchem, uziemienia instalacji, zapewnienia odpowiednio przeszkolonego personelu oraz środków gaśniczych.

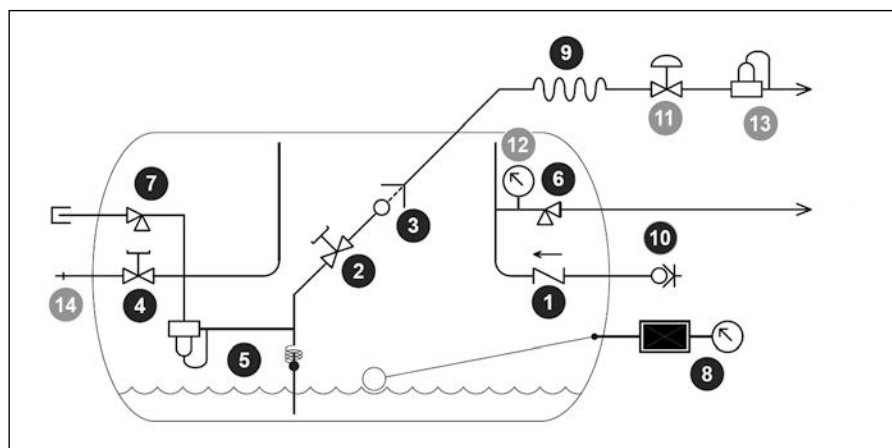
► (pobierania energii z otoczenia) będą się unosić. To ważne szczególnie w przypadku uwolnień w zamkniętych przestrzeniach – zadaszonych wiatkach, garażach, tunelach czy warsztatach, gdzie można się spodziewać źródeł zapłonu, takich jak instalacja elektryczna w wykonaniu zwykłym. Jeżeli obłok osiągnie stężenie 5-15 proc. gazu, a w jego zasięgu znajdzie się efektywne źródło zapłonu, może powstać pożar błyskawiczny (ang. *flash fire*) lub wybuch (ang. *vapor cloud explosion*), a w konsekwencji pożar rozlewiska (ang. *pool fire*) o parametrach zbliżonych do pożarów tradycyjnych paliw wykorzystywanych w transporcie. Ponieważ w zbiorniku LNG panuje nadciśnienie, gaz lub jego pary mogą się uwolnić i spalać, tworząc pożar strumieniowy (ang. *jet fire*). W skrajnych przypadkach może dojść do tzw. wybuchu par wrzących cieczy, połączonego z rozerwaniem zbiornika w wyniku uszkodzenia mechanicznego lub oddziaływania ognia, określanego jako BLEVE (ang. *boiling liquid expanding vapor explosion*) i w konsekwencji do powstania tzw. kuli ognia (ang. *fireball*).

Z jednej objętości LNG przechowywanego w temperaturze  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  może teoretycznie powstać około 600 objętości gazu pod ciśnieniem atmosferycznym o temperaturze  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jeżeli zatem w wyniku ogrzewania zbiornika zewnętrznego nastąpiłoby uszkodzenie izolacji próżniowej i mechanicznej (a zawory bezpieczeństwa by nie zadziałały), doszłoby do wzrostu ciśnienia w wewnętrznym zbiorniku LNG, a w konsekwencji do wybuchu fizycznego (BLEVE) i uwolnienia skrajnie łatwopalnej substancji do otoczenia. W pojazdach wykorzystujących LNG jest to jednak bardzo mało prawdopodobne ze względu na zainstalowane zabezpieczenia.

**Rozlewisko LNG.** Trwałe rozlewisko LNG może powstać w razie dużego rozszczelnienia zbiornika, przez które uwolni się znaczna ilość ciekłego gazu ziemnego. Uwolniony gaz będzie wrzał, pobierając ciepło z otoczenia, aż do całkowitego odparowania lub ustabilizowania się warunków wymiany ciepła. Wówczas postanie rozlewisko parującego i miejscami wrzącego LNG, wokół którego wytworzy się mieszanina wybuchowa.

**Odmrożenia.** LNG i jego pary w razie kontaktu z nieosłoniętą powierzchnią skóry mogą powodować ciężkie odmrożenia. W zakładach produkujących substancje kriogeniczne (tj. ciekły azot, tlen) w wyniku ich uwolnienia podczas tankowania cystem u pracowników znajdujących się w pobliżu dochodziło do odmrożenia stóp lub ich zamrożenia, a niekiedy nawet do urwania zamrożonej kończyny, gdy pracownik próbował uciec z miejsca zdarzenia.

Dodatkowymi zagrożeniami mogą być tzw. korki lodowe powstałe w rurociągach, czyli zamrożona woda lub inne zanieczyszczenia, które w wyniku wzrostu ciśnienia zostaną wyrzucone z dużą siłą, zagrażając osobom przebywającym



Rys. 1. Schemat instalacji paliwowej LNG [8]



Rys. 2. Rozmieszczenie zaworów na głowicy zbiornika LNG

w pobliżu. Znane są przypadki urwania części ciała pracownika, który próbował udrożnić rurociąg, usuwając taki korek lodowy. Odpowiednio przeszkolony personel, właściwie skonstruowane przyłącza i uchwyty oraz odpowiednie środki ochrony indywidualnej minimalizują ryzyko odmrożeń.

Podczas działań ratowniczo-gaśniczych należy zwracać szczególną uwagę, by nie uszkodzić instalacji paliwowej, w której znajduje się ciekły gaz ziemny. Niezbędne jest również stosowanie środków ochrony indywidualnej, tj. ochrony oczu wraz z ubraniem specjalnym, rękawicami i butami bojowymi.

### Pojazdy zasilane LNG

Pojazdy zasilane LNG wytwarzane są w Polsce przez jednego producenta, w Solcu Kujawskim. Na przykładzie rozwiązań stosowanych w autobusach tej firmy przedstawię najważniejsze elementy instalacji, których funkcjonowanie jest istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa nie tylko podczas normalnej eksploatacji, lecz także w razie wypadku drogowego czy pożaru pojazdu.

Omawiane autobusy uzyskały upoważnienie Ministerstwa Infrastruktury do rejestracji jako pojazdy zasilane paliwem alternatywnym LNG [3]. Pozwolenie na odstępstwo od homologacji w przypadku tego nowatorskiego rozwiązania poprzedziły badania pojazdu prowadzone przez Instytut Transportu Samochodowego [4]. Przyjęte procedury badawcze oraz pozytywne wyniki badań potwierdzone zostały w opiniach Politechniki Śląskiej i Transportowego Dozoru Technicznego.

Także amerykański producent instalacji LNG zainstalowanych w autobusach przeprowadza szereg potwierdzających ich bezpieczeństwo badań zgodnie z obowiązującymi normami technicznymi [5-7, 11].

Autobusy przystosowane do zasilania ciekłym gazem ziemnym są oznaczone z przodu i z tyłu nadwozia oraz na prawym boku pojazdu, w pobliżu drzwi wejściowych, nalepką z symbolem LNG.

**Charakterystyka układu paliwowego.** Układ paliwowy (zasilania) charakteryzuje się prostotą i zwartą budową. Ogranicza to do niezbędnej długości i liczby łączeń magistrali





Rys. 3. Część instalacji paliwowej widoczna w komorze silnika pojazdu po otwarciu tylnej górnej pokrywy



Rys. 4. Złącze tankowania

#### LEGENDA (dotyczy rys. 1-4)

Numery na czarnym tle na rys. 1 oznaczają miejsca, w których znajduje się faza ciekła, natomiast obecność fazy gazowej oznaczona jest numerami na szarym tle.

1. Zawór zabezpieczający tankowanie – stanowi zabezpieczenie przed cofaniem się paliwa poprzez przewód zasilający, np. w razie awarii złącza tankowania lub uszkodzenia przewodu.
2. Zawór odcinający paliwo – służy do ręcznego odcięcia paliwa podczas prac eksploatacyjno-naprawczych. W czasie akcji ratowniczo-gaśniczych z udziałem pojazdów zasilanych LNG w miarę możliwości należy go zakręcić, pamiętając o stosowaniu środków ochrony indywidualnej zapobiegających odmrożeniom, m.in. rękawic.
3. Zawór zabezpieczający nadmiernego wypływu – chroni linię paliwową między zbiornikiem a wymiennikiem ciepła przed niekontrolowanym wypływem paliwa (w fazie ciekłej). Jego zadaniem jest ograniczenie wypływu w sytuacji pęknięcia przewodu paliwowego, np. podczas wypadku, lub przecięcia go w czasie działań ratowniczych, m.in. urządzeniami hydraulicznymi.
4. Zawór przewietrzający – służy do opróżnienia zbiornika oraz jego przewietrzenia podczas pierwszego tankowania i tankowania ciepłego zbiornika.
5. Regulator ciśnienia zbiornika – umożliwia dopływ oparów do przewodów zasilających silnik podczas pracy w celu zmniejszenia ciśnienia panującego w zbiorniku, gdy jest ono zbyt wysokie.
6. Główny zawór bezpieczeństwa – uruchamia się, gdy LNG w zbiorniku osiągnie maksymalną dopuszczalną wartość ciśnienia (MDCP) 1,5 MPa (przy nominalnym ciśnieniu w zbiorniku 0,85 MPa). Wylot zaworu bezpieczeństwa skierowany jest ponad dach autobusu. Zawór ten jest połączony w najwyższym położonym punkcie zbiornika tak, że w razie jego zadziałania przy pojeździe ustawionym na kołach uwalniana będzie faza gazowa.
7. Dodatkowy zawór bezpieczeństwa – zostanie uruchomiony, gdy ciśnienie w zbiorniku wzrośnie do około 2,2 MPa (osiągnie 1,5 MDCP). Jego głównym zadaniem jest upuszczenie nadmiaru fazy gazowej w razie niezadziałania głównego zaworu bezpieczeństwa lub gdy redukcja ciśnienia będzie niewystarczająca. Jest on chroniony czerwoną winylową nasadką. W przypadku jej braku pojazd powinien być wycofany z eksploatacji i wymagana jest kontrola zaworu bezpieczeństwa.
8. Wskaźnik poziomu paliwa – na pulpicie kierowcy pozwala oszacować ilość paliwa w zbiorniku.
9. Wymiennik ciepła jest urządzeniem, w którym następuje odparowanie LNG (rys. 3) przy udziale czynnika chłodzącego silnik. Do wymiennika doprowadzony jest ciekły gaz ziemny, o niskiej temperaturze. Do silnika dostarczana jest faza gazowa. Prowadząc działania ratownicze, należy uwzględnić możliwość uwolnienia ciekłego paliwa z uszkodzonych przewodów paliwowych pomiędzy zbiornikiem a wymiennikiem ciepła.
10. Złącze tankowania – pozwala tankować zbiornik LNG (rys. 4). Jego wytrzymałość mechaniczna jest na tyle duża, że w razie niezamierzonego przemieszczenia autobusu w trakcie tankowania uszkodzeniu powinno ulec tzw. złącze łatwozrywalne zainstalowane w stacji tankowania. Obsługa tankująca pojazdy musi dbać, aby złącze tankowania było pozbawione zanieczyszczeń, które mogłyby dostać się do wnętrza zbiornika, w tym wody.
11. Automatyczny zawór odcinający – odcina dopływ paliwa, jeżeli jest wyłączony zapłon lub prędkość obrotowa spada poniżej zadanej wartości.
12. Wskaźnik ciśnienia – przedstawia jego wartość w zbiorniku.
13. Regulator ciśnienia zasilania – redukuje ciśnienie do zakresu wymaganego dla silnika (0,67 MPa).
14. Złącze wentylacyjne – służy do wentylacji zbiornika w trakcie tankowania, o ile jest to wymagane przez stację paliw.

paliwowej. Mieści się w całości w tylnej części autobusu w pobliżu silnika. Na rys. 1 przedstawiony został schemat instalacji paliwowej LNG.

**Zbiornik LNG.** We wspomnianych wcześniej autobusach kriogeniczne zbiorniki LNG o pojemności 330 dm<sup>3</sup> (około 130 kg) podlegają przepisom dotyczącym zbiorników ciśnieniowych [9] oraz wymaganiom opisanym w instrukcji pakowania

P203 zawartej w umowie ADR [10]. Aby zapewnić odpowiednie warunki przechowywania dla LNG bez dodatkowych systemów chłodzących potrzebna jest wysoka skuteczność izolacji. W związku z tym zbiornik LNG wykonany jest z dwóch zbiorników umieszczonych jeden w drugim, z warstwą izolacyjną pomiędzy nimi (rys. 5). Wewnętrzny zbiornik ciśnieniowy jest osłonięty

niepalnym materiałem izolacyjnym, a dodatkowo pomiędzy wewnętrznym i zewnętrznym zbiornikiem utrzymywana jest próżnia wytworzona przez producenta, która tworzy tzw. superizolację. Po zatankowaniu LNG izolacja (mechaniczna i próżniowa) zapewnia utrzymanie paliwa w zbiorniku przez okres około dwóch tygodni. Później zaczyna pracować główny zawór bezpieczeństwa i w około trzy-, czterogodzinnych odstępach następują okresowe upusty gazu. Upust taki trwa kilka sekund. Dzięki temu maleje ciśnienie i obniża się temperatura LNG w zbiorniku. Częstotliwość upustu gazu jest o wiele większa przy braku izolacji próżniowej.

Zbiorniki wykonane są ze stali nierdzewnej, co zapewnia mechaniczną odporność na działanie niskich temperatur wytwarzanych przez substancję kriogeniczną oraz wysoką temperaturę, która może oddziaływać na zbiornik np. w czasie pożaru pojazdu.

**Usytuowanie instalacji.** Aby ograniczyć możliwość uszkodzeń mechanicznych, do których mogłoby dojść w czasie wypadku drogowego, zbiornik LNG umieszczono w tylnej części autobusu, bezpośrednio nad komorą silnika, odgradząc go od gorących elementów silnika stalową obudową. Jednocześnie jest on umiejscowiony poza przestrzenią pasażerską, dostęp do komory zawierającej zbiornik LNG znajduje się za tylnymi drzwiami. Po otwarciu pokrywy uzyskujemy dostęp do głowicy zbiornika z najważniejszymi dla ratowników zaworami. W jego dolnej części znajduje się złącze do tankowania oraz przyłącze uziemiające.

**Wykrywanie nieszczelności instalacji.** LNG jest bezbarwny i bezwonny, dlatego pojazdy zasilane tym rodzajem paliwa wyposażone są w system wykrywający nieszczelności. Poinformuje on kierowcę o awarii sygnałem dźwiękowym i optycznym, jeżeli wystąpi stężenie siedmiokrotnie niższe od dolnej granicy wybuchowości metanu.

#### Tankowanie LNG

Zarówno w Polsce, jak i w całej Unii Europejskiej nie ma stacji paliw umożliwiających tankowanie pojazdów zasilanych LNG. Obowiązujące ▶

► przepisy nie regulują precyzyjnie wymagań dla tankowania pojazdów ciekłym gazem ziemnym. W związku z tym tankowanie autobusów odbywa się bezpośrednio z autocystem, stacji kontenerowych lub mobilnych stacji wyposażonych w pompę kriogeniczną oraz dystrybutor.

Najpierw do złącza tankowania podłącza się przewód zasilający stacji tankowania. Zbiornik napelniany jest w 90 proc. objętości wodnej. Zgodnie z wytycznymi ADR [12] zbiorniki kriogeniczne dla gazów skroplonych schłodzonych i palnych napelnianie są w takim stopniu, że ściśliwa faza gazowa zapobiega wzrostowi ciśnienia, a w konsekwencji rozerwaniu zbiornika przez wzrost objętości fazy ciekłej powodowany przez rosnącą temperaturę. Dodatkowo niecałkowite wypełnienie zbiornika fazą ciekłą zapobiega uwalnianiu jej przez zawór bezpieczeństwa. Tankowanie autobusu trwa około 4 min przy wydajności 30-40 kg/min.

Zazwyczaj tankowanie odbywa się na wygrodzonym terenie zajezdni autobusowej. W związku z tym w instrukcji bezpieczeństwa pożarowego dla tego obiektu oraz otaczającego go terenu [13] powinny zostać zawarte m.in. informacje o:

- występujących tam warunkach ochrony przeciwpożarowej – zagrożeniu wybuchem, sposobach oraz możliwości awaryjnego zamknięcia poszczególnych elementów instalacji w celu ograniczenia ilości uwolnionego LNG,

- sposobach prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych z wykorzystaniem sprzętu stanowiącego wyposażenie stacji tankowania oraz środków jednostek ochrony przeciwpożarowej,

- pierwszej pomocy, wymaganiach co do przeszkolenia personelu i sposobie jego realizacji oraz technologii procesu tankowania [14].

Te informacje powinny również zostać wykorzystane do operacyjnego rozpoznania obiektu oraz podczas działań ratowniczo-gaśniczych.

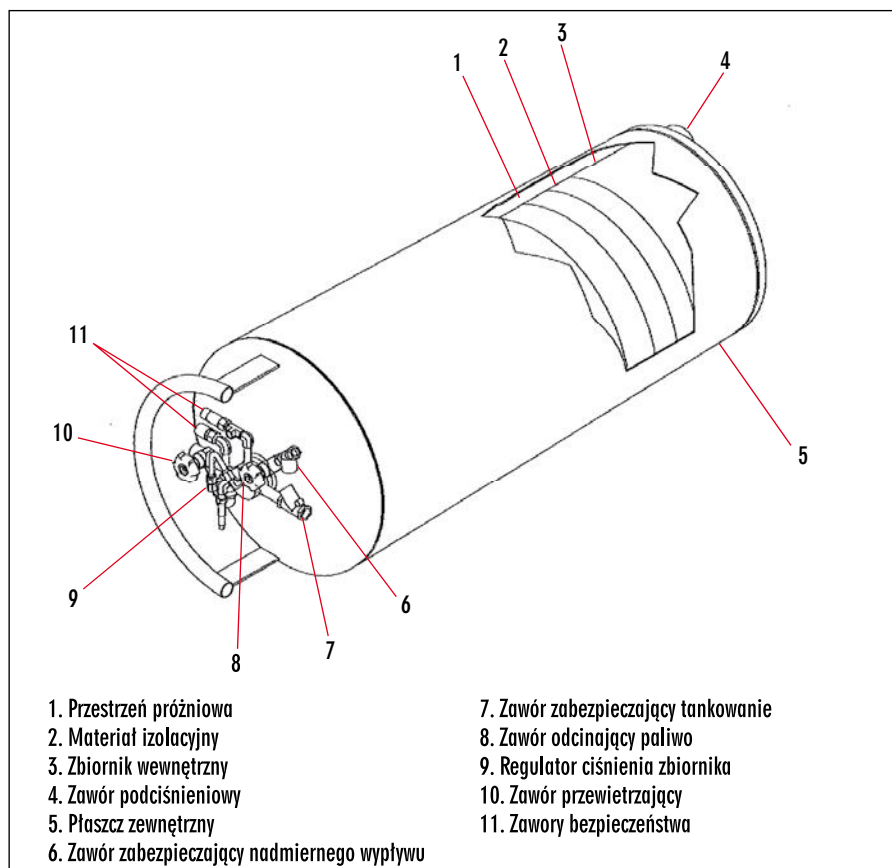
## Garażowanie i prace naprawcze

Garażowanie omawianych pojazdów w budynku jest dozwolone pod warunkiem zapewnienia systemów lub rozwiązań technicznych zapobiegających gromadzeniu się gazu w stężeniach wybuchowych w autobusie lub w samym budynku [5]. Innym warunkiem jest opróżnienie instalacji paliwowej z LNG i napełnienie jej gazem obojętnym. Prace związane z naprawami instalacji LNG, jeżeli nie ustalono inaczej, powinny odbywać się jedynie na zewnątrz budynków.

Te zagadnienia powinny być w każdym konkretnym przypadku szczegółowo określone w instrukcji bezpieczeństwa pożarowego.

## Zdarzenia niebezpieczne

W przypadku wystąpienia pożaru w komorze silnika superizolacja w układzie zbiorników nie powinna dopuścić do bezpośredniego oddziaływania płomieni na zbiornik wewnętrzny z LNG.



Rys. 5. Zbiornik LNG z osprzętem [7]

W związku z tym prawdopodobnie rozszczelnieniu ulegnie izolacja próżniowa i paliwo zacznie się powoli ogrzewać. Główny zawór bezpieczeństwa będzie stopniowo upuszczał nadmiar ciśnienia do strefy nad dachem autobusu, gdzie nastąpi jego spalanie. Do podobnej sytuacji doszło 23 kwietnia 2010 r. podczas jazdy testowej seryjnego autobusu – wspominałem o tym zdarzeniu na początku artykułu. Olej hydrauliczny wyciekający w wyniku rozszczelnienia instalacji z przewodu przelewo-

wego napędu wentylatora uległ samozapłonowi. Pożar objął cały autobus. Po jego ugaszeniu ustalono, że w doszczętnie spalonym pojeździe zbiornik LNG, pierwotnie zatankowany ok. 70 kg paliwa, utracił jedynie izolację próżniową, nato-

Rys. 6. Położenie zainstalowanego zbiornika paliwa nad komorą silnika pojazdu wraz z widocznym oznakownikiem zewnętrznym zasilania LNG (autobus bez wklejonej tylnej szyby)



foto. Wojciech Wołowski (5)



miast wymiennik ciepła oraz automatyczny zawór odcinający nie uległy większemu uszkodzeniu. Na skutek utraty właściwej izolacji główny zawór bezpieczeństwa upuszczał pozostały ciekły gaz ziemny przez cykliczne otwieranie się w czasie 24 godz., po czym nastąpiło uszczelnienie się układu.

Gaz uwolniony do komory silnika po ogrzaniu unosi się ku górze i przez wyciąg w dachu wydostaje się poza autobus. Ewentualne nieszczelności w komorze silnika, skutkujące powstaniem niebezpiecznych stężeń gazów, wykrywa zamontowany tam czujnik, który podlega okresowej kalibracji.

Podczas innego zdarzenia (w grudniu 1992 r.) doszło do zapłonu metanu uwolnionego z instalacji LNG zasilającej autobus w czasie prac serwisowych związanych z naprawą układu paliwowego [15]. Pojazd został dostarczony na teren parkingu przy warsztacie we właściwy sposób i był przygotowywany do naprawy instalacji LNG. Jednak z powodu złej pogody mechanik zdecydował się wykonać te prace wewnątrz budynku. A jak już wspominałem, tego rodzaju czynności powinny być przeprowadzane na zewnątrz, by ewentualne rozszczelnienia instalacji nie prowadziły do tworzenia niebezpiecznych stężeń w zwartej przestrzeni. Producent jednoznacznie zastrzegł to w swoich instrukcjach.

W trakcie naprawy instalacji nastąpiło uwolnienie metanu i uruchomienie sygnałów ostrzegawczych z systemu detekcji niebezpiecznych stężeń gazów palnych. Mechanik próbował więc uruchomić autobus i wyjechać nim z garażu. Wówczas prawdopodobnie system klimatyzacji i wentylacji spowodował zapłon uwolnionego gazu ziemnego,

Rys. 7. Widok przygotowanej do tankowania instalacji paliwowej



który zgromadził się przede wszystkim wewnątrz pojazdu. W wyniku przyrostu ciśnienia wszystkie szyby w autobusie uległy zniszczeniu, popękały też włazy i klapy umieszczone w dachu warsztatu. Mechanik nie odniósł poważniejszych obrażeń.

Pokazuje to, jak ważne jest przestrzeganie instrukcji użytkowania i właściwe wyszkolenie personelu wykonującego prace przy instalacjach LNG.

Mechaniczne uszkodzenie zbiornika może dotyczyć naruszenia płaszcza zewnętrznego, co spowoduje utratę izolacji próżniowej i części mechanicznej, powolny wzrost ciśnienia, zredukowany przez działanie zaworów bezpieczeństwa, a gaz ziemny stalowym przewodem będzie uwalniany nad dach autobusu.

Może również dojść do uszkodzenia zbiornika wewnętrznego, które pociągnie za sobą uwolnienie LNG do przestrzeni międzyzbiornikowej, a następnie przez zawór podciśnieniowy (w normalnych warunkach zapewniający utrzymanie próżni) odparowana faza gazowa dostanie się do przestrzeni nad zbiornik, skąd przez otwór wentylacyjny w dachu ulotni się do atmosfery.

Uszkodzenie punktowe dwóch zbiorników z uwolnieniem ciekłego gazu to najmniej niebezpieczny scenariusz, na szczęście – ze względu na zabezpieczenia – najmniej prawdopodobny. Może do niego dojść podczas wypadku komunikacyjnego lub celowego działania. Przez powstały otwór będzie uwalniał się ciekły gaz ziemny, który natychmiast zostanie ogrzany, pobierając ciepło z otoczenia, a przez to nie powinno dojść do powstania rozlewisk. Wytworzy się natomiast obłok par LNG i powstanie strefa zagrożenia wybuchem.

Warto podkreślić, że z dostępnych danych wynika, że uszkodzenia mechaniczne opisywanych instalacji paliwowych LNG, do których doszło w wyniku wypadków drogowych, powodowały właściwe działanie odpowiednich zaworów.

### Wnioski

Aby zapobiec uszkodzeniom ciała na skutek oddziaływania substancji kriogenicznej, podczas działań ratowniczo-gaśniczych należy unikać bezpośredniego kontaktu nieosłoniętych części ciała z armaturą instalacji LNG lub samym paliwem. Szczególnej ostrożności wymaga używanie urządzeń hydraulicznych – trzeba zwracać uwagę, by nie uszkodzić elementów instalacji paliwowej wypełnionych ciekłym gazem ziemnym.

Instalacja ta ma nowatorski charakter, nie ma więc dziś jeszcze wypracowanych standardów ratowniczo-gaśniczych dla działań z pojazdami zasilanymi LNG. Wskazane jest organizowanie ćwiczeń opartych na opracowanych i wdrożonych instrukcjach użytkowania pojazdów oraz instrukcjach bezpieczeństwa pożarowego obiektów, na których terenie odbywa się garażowanie, serwis lub tankowanie pojazdów zasilanych LNG.

Zbiornik LNG instalowany w pojeździe poddaje się m.in. próbie ogniowej – po napełnieniu umieszczany jest w pożarze testowym [11], próbie na przebicie mechaniczne, testowi upadku z wysokości i innym [5-7]. Próby zaliczone są jako pozytywne, jeżeli zbiornik nie ulegnie rozzerwaniu, a zawory bezpieczeństwa zadziałają i zredukują zwiększone ciśnienie. Testy te mają zagwarantować odpowiedni poziom bezpieczeństwa pojazdów zasilanych LNG.

Należy propagować wiedzę o właściwościach fizykochemicznych opisywanego paliwa, a także budowie i eksploatacji cystern (drogowych i kolejowych) przewożących LNG.

Ocenia się, że funkcjonujące zabezpieczenia, a w szczególności zawory bezpieczeństwa, izolacja termiczna, jak również sposób badania zbiorników, przy zachowaniu wymagań serwisowych stawianych przez producenta instalacji w pełni zabezpieczają nie tylko użytkowników takich pojazdów, lecz także ratowników przed możliwością rozzerwania zbiornika LNG nawet w najbardziej niebezpiecznych sytuacjach.

W związku z zaleceniami Komisji Europejskiej wydaje się zasadne opracowanie polskich standardów, a docelowo regulacji prawnych w zakresie warunków technicznych dla stacji paliw dystrybuujących LNG. ■

### Przypisy

- [1] Komunikat Komisji Europejskiej: *Czysta energia dla transportu: Europejska strategia wykorzystania paliw alternatywnych w transporcie*, 24 stycznia 2013 r.
- [2] PN-EN 1160:2008 Instalacje i urządzenia do skroplonego gazu ziemnego – Ogólna charakterystyka skroplonego gazu ziemnego.
- [3] W. Wolański, *LNG – ekologiczne paliwo w autobusach marki Solbus*, 2012.
- [4] Rozporządzenie ministra infrastruktury z 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (DzU z 2013 r., poz. 951).
- [5] NFPA 52 Vehicular Gaseous Fuel Systems Code, 2013
- [6] NFPA 59A Standard for the Production, Storage and Handling of LNG, 2013
- [7] PN-EN 1251-2:2002 Zbiorniki kriogeniczne – Zbiorniki przenośne o objętości nie większej niż 1000 l izolowane próżnią – Część 2: Projektowanie, wytwarzanie, kontrola i badania.
- [8] *Vehicle Fuel Tank System*, Chart Industries.
- [9] Rozporządzenia ministra gospodarki z 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych (DzU nr 263, poz. 2200, z późn. zm.).
- [10] Podrozdział 4.1.4.1 Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie 30 września 1957 r. (DzU z 2013 r., poz. 815).
- [11] ISO 12991:2012 Liquefied natural gas (LNG) – Tanks for on-board storage as a fuel for automotive vehicles.
- [12] Podrozdział 4.1.4.1 pkt 5 instrukcji pakowania 203 umowy ADR.
- [13] § 6 rozporządzenia ministra spraw wewnętrznych i administracji z 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, obiektów budowlanych i terenów (DzU nr 109, poz. 719).
- [14] Punkt 12.2.3 NFPA 52 Vehicular Gaseous Fuel Systems Code, 2013 r.
- [15] *An Initial Qualitative Discussion on Safety Considerations for LNG Use in Transportation*, NCP, 2012

St. kpt. Konrad Leszczuk pełni służbę w Wydziale Analiz Zagrożeń w Biurze Rozpoznawania Zagrożeń. Artykuł powstał przy współpracy śp. Jacka Inowolskiego z Instytutu Transportu Samochodowego oraz Wojciecha Wolańskiego z firmy Solbus